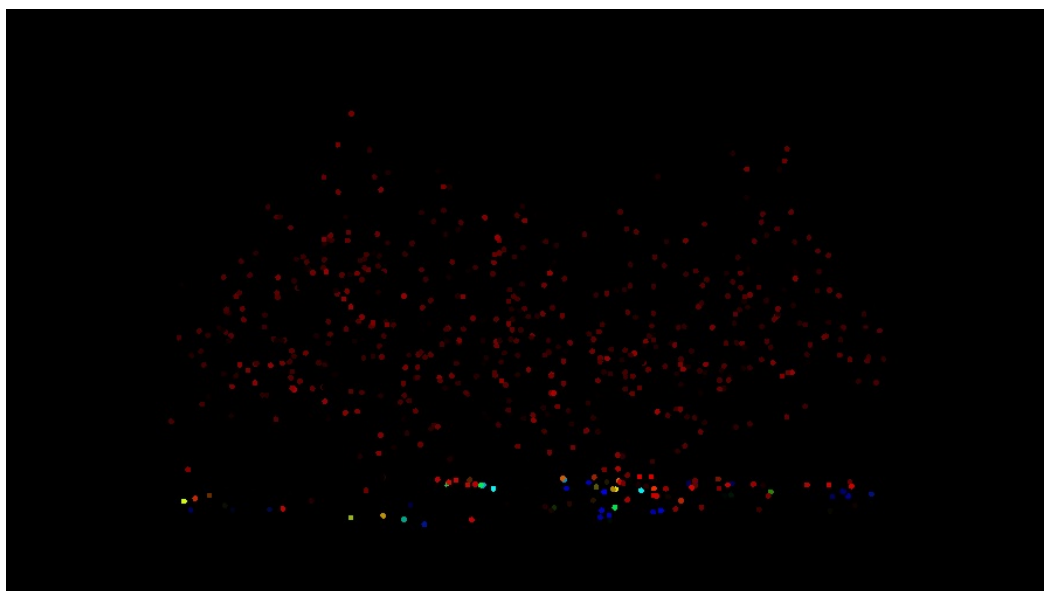




SKOGSMÄSTARPROGRAMMET
Examensarbete 2013:22

Identifiering av röjningsbestånd med hjälp av flygburen laserskanning

*Identification of clearing stands by using airborne
laser scanning*



Erik Viklund

Identifiering av röjningsbestånd med hjälp av flygburen laserskanning

Identification of clearing stands by using airborne laser scanning

Erik Viklund

Handledare: Lars Norman, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Eric Sundstedt, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kurskod: EX0624

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2013

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet

Serienummer: 2013:22

Nyckelord: NNH, skog, riksskogstaxeringen



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

FÖRORD

Detta är mitt examensarbete på C-nivå. Det omfattar 15 högskolepoäng och är en obligatorisk del i skogsmästarprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, i Skinnskatteberg. Jag vill härmed rikta ett stort tack till alla som hjälpt mig vid genomförandet av denna rapport och handlett mig under processens gång. Utan er hade detta examensarbete inte varit möjligt att genomföra. Speciellt vill jag tacka Lars Sängstuvall, laserskanningsansvarig på Bergvik skog, som varit projektägare/handledare. Tack för att du gett mig bra feedback och hjälp till att fixa med material. Jonas Bolin, fjärranalysavdelningen på SLU, som hjälpt mig med analyser och frågor kring laserskanning. Johan Viklund, blivande jägmästare och bror som hjälpt mig med databearbetning.

Jag vill dessutom tacka Skogsmästarskolan med min huvudhandledare Lars Norman i spetsen som kommit med konstruktiv kritik samt min examinator Erik Sundstedt.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord.....	iii
INNEHÅLLSFÖRTECKNING.....	v
1. ABSTRACT.....	1
2. INLEDNING.....	3
2.1 Företagspresentation	4
2.2 Röjning.....	4
2.3 Laserskanning.....	5
2.4 Syfte.....	6
3. MATERIAL OCH METODER	9
3.1 Studieområde.....	9
3.2 Definition av röjningsbehov	9
3.3 Fältdata	10
3.4 Laserdata.....	11
3.5 Programvaror	11
3.6 Bearbetning med Fusion	12
3.7 Enkel och multipel linjär regression	13
3.8 Logistisk regression	13
3.9 Skapande av funktioner.....	14
3.10 Bearbetning med ArcMap	14
3.11 Röjningsbestånd.....	14
3.12 Fältbesök	15
4. RESULTAT.....	17
4.1 Skattning av medelhöjd, grundyta och volym.....	17
4.2 Logistisk regression	19
5. DISKUSSION	29
6. SAMMANFATTNING	33
7. REFERENSLISTA	35
7.1 Publikationer.....	35
7.2 Internetdokument.....	36
7.3 Muntlig referens	37

1. ABSTRACT

Bergvik Skog is one of the leading forest companies in Sweden who use airborne laser scanning for forestry information. They utilize laser data retrieved by the Swedish National Land Survey to describe the forest holdings and facilitate planning for thinning and final felling operations. However, the possibility to identify stands with clearing needs by using laser scanning data has not been tested in a large scale. The data used in the current study are field data from The Swedish National Forest Inventory in combination with laser data from the Swedish National Land Survey acquired in 2009. The collected data is used to find one or several laser variables that best describe the relationship of the field measured samples with clearing needs. Simple and multiple linear regression and logistic regression were used to examine the best laser variables who describes clearing needs best. These regression functions were used to create raster layers which describe the clearing stands. Within these grid cells an average value was counted for each cell and it also gave the cell its information. This was then compared with the resulting model with Bergvik Skogs holding records to verify how well the new model describes a population with clearing needs.

The result shows that the data used in the study estimates the height, volume, basal area and have an explanation degree (R^2 -adj) of 89 %, 86 %, and 76 % which is good and comparable with similar studies. The model for the needs of clearing shows that approximately 70 % of the cases identify the clearing stands within the test area. The model also shows where the needs of clearing are larger in the stands and can therefore be used to support the planning of clearing stands.

2. INLEDNING

Vid skötsel och brukande av skog är planering en av de viktigaste bitarna, speciellt för storskogsbruket men även för de mindre skogsägarna. Det handlar om att sätta in rätt skötselåtgärd vid rätt tidpunkt för att uppnå maximal nytta av skogen. För att kunna upprätthålla god planering är behovet av aktuell beståndsdata en förutsättning (Magnusson et al., 2007).

Skogsbruket har länge använt sig av fjärranalysmetoder för att skatta beståndsdata. På 1950-talet användes analoga flygbilder för att dela in skogen i bestånd och därmed underlätta uppföljningar (Bergström & Walter, 1999). Under tidens gång har teknik och metoder för skoglig datainsamling utvecklats och i dagsläget används flera typer av sensorer såsom exempelvis laserskanning, radar och digitala kameror, vilka monteras på exempelvis flygplan, satelliter eller små radiostyrda flygplan (UAV). Data som samlas in från fjärranalys kombineras oftast med fältmätta provytor för att skatta de variabler som önskas (McRoberts et al., 2010).

Laserskanning är idag en etablerad metod för skogliga inventeringar. Länder som Norge och Finland ligger långt fram i utvecklingen och använder laserskanning i stor skala. I Sverige har metoden hittills använts i mindre omfattning. Möjligheten att ta del av laserdata på ett billigt och enkelt sätt gavs först år 2009 då Lantmäteriet fick i uppdrag att ta fram en ny markmodell (Nordkvist & Olsson, 2013). Studier som utförts av Naesset et al. (2004) visar att skattning av skogliga variabler såsom höjd, volym och grundyta är minst lika bra från laserdata som från subjektiva fältmätningar.

Bergvik skog är idag det ledande företaget i Sverige vid användning av flygburen laserskanning (Nordkvist & Olsson, 2013). De har stor nytta av laserdata dels för att beskriva skogsinnehavet och dels som stöd vid gallring och slutavverkningsplanering. Metoder för att beskriva ungskog utifrån laserdata och sedan använda den beskrivningen som stöd i röjningsinventering samt röjningsplanering har emellertid inte hunnit testats lika mycket (Lars Sängstuvall, Bergvik Skog, Personlig kommunikation 2013-01-07). Bergvik Skog föryrngrar cirka 18 000 hektar årligen och röjer cirka 40 000 hektar. Detta innebär att stora arealer är i ungskogsfasen och behovet av en effektivare inventeringsmetod efterfrågas (Bergvik Skog, 2012).

Vid traditionell inventering av röjningsbestånd är höjd, stamantal och ståndortsindex de variabler som avgör hur röjningen skall utföras (Pettersson et al., 2013). Stamantal och ståndortsindex har dock visat sig vara mycket svårt att skatta med hjälp av laserskanning (Næsset et al., 2004). Därför krävs andra mått eller variabler på hur en röjning ser ut när man använder sig av laserskanning för att kunna identifiera just röjningsbehoven. En annan fördel med laserskanning jämfört med traditionell inventering är att man kan se variationen i bestånden när det exempelvis gäller täthet och höjd. Den informationen ges ej vid vanlig beståndsdata som används mest i Sverige, utan där erhålls ett medelvärde på

hela beståndet och ingen information om variationen inom beståndet (Nilsson, 1994).

I denna studie studeras kombinationer av lasermått vilka påvisar hur en ungskog med röjningsbehov ser ut.

2.1 Företagspresentation

Bergvik Skog är ett av Sveriges största skogsägande bolag och de äger skogsmark både i Sverige och i Lettland. I Sverige ägs drygt 2,3 miljoner hektar skogsmark och i Lettland närmare 100 000 hektar. Även tre större skogsplantskolor ägs av Bergvik skog. Dessa är belägna i Dalarna, Värmland och Gästrikland. Tillsammans levererar de cirka 55 miljoner plantor (Bergvik Skog, 2013, Länk A).

Huvudkontoret är placerat i Falun med 26 stycken anställda som jobbar med policyer och riktlinjer för skogsbruk och förvaltning av Bergviks markinnehav samt kommunikationen med Stora Enso och BillerudKorsnäs. Eftersom Bergvik Skog inte har någon egen industriell verksamhet säljs den skogliga råvaran till Stora Enso eller Billerud Korsnäs som avverkningsrätter. Dessa avverkningsrätter garanteras med långsiktiga avtal. Även fältdelen med operativ planering såsom skogsvård, vägunderhåll och skoglig förvaltning köps in av Stora Enso och BillerudKorsnäs men de följer de policys och riktlinjer som Bergvik jobbat fram (Bergvik Skog, 2013, Länk A).

2.2 Röjning

Röjning är en av de mest lönsamma skötselåtgärderna i en växande skog och möjligheten att påverka beståndsstrukturen med röjning är god i tidig ålder (Skogforsk, 2012, Länk B). I ett beräkningsexempel av Skogsstyrelsen (Pettersson et al., 2012) påvisades att ett röjt bestånd redan vid gallring gav en högre intäkt jämfört med ett oröjt bestånd. Gallringsnettot i det röjda beståndet var 10 kronor högre per m³sk än vid de oröjda bestånden.

Röjningen slog igenom i skogsbruket under 1940-talet när trakthyggesbruket infördes för att få ett mer rationellt skötselsätt i samband med att efterfrågan på skogsråvaror ökade. Vid trakthyggesbruk sker skogsskötseln i större sammanhängande områden för att underlätta produktionen av virke i önskvärd kvalitet. Innan trakthyggesbruket infördes var blädningsbruk det vanligaste skogsbruksättet (Bäckström, 1984). Under historiens gång har människorna använt sig av många olika röjningsmetoder. I början av seklet var det röjya och handkraft som användes, men under 1950 introducerades det kemiska bekämpningsmedlet "hormoslyr" som på ett enkelt och effektivt sätt bekämpade lövträd. Under denna period utvecklades även den motormanuella röjsågen som ökade produktiviteten rejält i jämförelse med röjyxan (Ligné, 2004).

År 1983 lagstiftades ett förbud mot användning av bekämpningsmedel mot lövskog vilket medförde att ett röjningsberg växte fram. För att få bukt på röjningsberget införde regeringen en röjningsplikt år 1979 i skogsvårdslagen samt även ett röjningsbidrag under en period under 1980-talet. I slutet av 1980-talet och början på 90-talet uppvisades goda resultat, röjningsberget hade då

minskat med nära 50 % från 300 000 hektar till 150 000 hektar röjning. Skogsstyrelsen, 2013, Länk C). År 1994 ansågs röjningsplikten inte längre vara nödvändig och regeringen valde därför att avveckla den. Sedan dess har den totala röjarealen bara ökat medan den tekniska utvecklingen för planering och manuell röjning dock stått still. I dagsläget har vi i Sverige cirka 834 000 hektar ungskog med akut röjningsbehov sett över hela landet (Skogsstyrelsen, 2013, Länk C).

Vid röjning glesas beståndet ut och de kvarvarande stammarna får större del av tillväxtresurserna ljus, vatten och näring. Träden ges då bättre möjlighet att utveckla sina rotsystem och bygga ut sina kronor. Dimensionsutvecklingen ökar och risken för snöbrott och vindfällning minskar (Enström, 1996). Genom röjning kan skogsägaren i tidigt stadie hjälpa beståndet att uppnå den utveckling som eftersträvas.

Hur, var och när man ska röja beror på ståndortsegenskaper, aktuell beståndsnivå samt skogsägarens målsättning med det framtida beståndet. Röjning påverkar kommande skötselåtgärder positivt, både produktivt och ekonomiskt (Pettersson et al., 2012).

Det finns två olika typer av röjningsformer, selektiv röjning samt schematisk röjning. Selektiv röjning är den vanligaste metoden i Sverige och det innebär att det enskilda trädets egenskaper utgör valet av vilken stam som ska lämnas eller tas bort. Inom selektiv röjning är de vanligaste typerna enkelställning, lövröjning, punkt/ brunnsröjning och toppröjning. Schematisk röjning innebär att trädens placering bestämmer vilka stammar som lämnas (Pettersson et al., 2012). Det skiljer sig i utförande mellan de olika typerna av röjning och typ väljs oftast beroende på vad skogsägaren har för mål med sina bestånd. I schematisk röjning används typen stråkröjning där korridorer röjs upp. Metoden är anpassad särskilt för mekaniserad röjning och kombineras ofta med vanlig selektiv röjning i områdena mellan korridorerna (Pettersson et al., 2012).

2.3 Laserskanning

Efter förslag från klimat och sårbarhetsutredningen fick Lantmäteriet år 2007 i uppdrag av regeringen att skapa en ny nationell höjdmodell (NNH) med högre noggrannhet (Klimat och sårbarhetsutredningen, 2007). NNH skulle framställas med hjälp av flygburen laserskanning och inneha en noggrannhet på +/- 0,5 meter i höjdlid inom en ruta på 2x2 meter (Lantmäteriet, 2010).

Flygburen laserskanning är en effektiv metod för att skanna stora arealer med hög noggrannhet. Syftet är att få en bra markmodell där vegetationen filtreras bort (Lysell, 2010). Även om Lantmäteriet utför skanningen med syftet att skapa en ny markmodell över Sverige erhålls även information om hur vegetationen och skogen ser ut. Det utgör en unik möjlighet för skogsägare att ta tillvara på informationen och använda den för att få en bättre bild över sina skogsinnehav.

Laserskanningen ger bättre underlag vid planering av skötselåtgärder och trakttdirektiv samtidigt som det ger säkrare utbytesberäkningar vilket i sin tur ger ett jämnare flöde till industri och tillfredställer kundernas behov (Skogforsk, 2008). Detta förutsätter dock att sambandet mellan laserdata och skogen är känt på de områden som ska analyseras.

Laserdata som kommer från NNH följer las-standard, version 1.2 och består av mängder av laserpunkter och varje punkt har en koordinat i X,Y och Z- led. Utöver koordinaterna delas varje punkt in i olika klasser beroende på vad som träffas av lasern. Detta görs av Lantmäteriet före leverans av data. Klassificeringen sker automatiskt och beskriver tre olika typer av träffar; 01=Oklassificerade, 02=Mark, 09=Vatten (Lantmäteriet, 2010). Lantmäteriet är ute efter typen 02, mark. För skogligt bruk vill man komma åt typen 01, oklassificerad, som oftast är träffar i träd och vegetationsskiktet (Næsset et al., 2004).

Flera studier har under de senaste två decennierna undersökt hur skattning av skogliga variabler som exempelvis höjd, grundyta och volym kan tillämpas med hjälp av flygburen laserskanning. Studiernas resultat har påvisats vara goda och kan utan problem jämföras med den traditionella subjektiva fältinventeringen (Holmgren, 2004).

Det finns huvudsakligen två metoder som används för att skatta skogliga variabler med hjälp av laserskanning: Den Arealbaserad metod och enskilda trädskattningar. Den Arealbaserade metoden har ett relativt glest nät av laserpunkter, cirka en träff per kvadratmeter. Men tätheten är ändå tillräckligt för att skatta genomsnittliga värden på höjd, volym, grundyta, medeldiameter på beståndsnivå (Næsset et al., 2004). Metodens skattningar bygger på sambandet mellan laserdata och väl kända GPS-positionerade provytor i fält. Enskilda trädskattningsmetoden är en metod som kräver en hög täthet av laserpunkter (10 laserpunkter per kvadratmeter) för att kunna identifiera de enskilda trädens toppar och krondiameter. Även trädslag kan bedömas med hjälp av kronans form (Nordkvist & Olsson, 2013). Höjd, volym, diameter och grundyta skattas med hjälp av sambandet mellan laserdata och provytor i fält. Där de enskilda trädets information fångas upp (Næsset et al., 2004).

2.4 Syfte

Detta examensarbete syftar till att testa olika ansatser att identifiera röjningsbehov utifrån befintlig laserdata för någon del av Bergviks skogsinnehav och därefter utvärdera ansatsernas användbarhet i ett standardiserat arbetsätt för identifiering av röjningsbehov.

Syftet med denna studie innefattar följande punkter:

- Definiera ett röjningsbestånd.
- Beskriva ett röjningsbestånds utseende ur laserdatats perspektiv.
- Identifiera röjningsbestånd med hjälp av laserdata.

- Ta fram en eller flera modeller som kan vara till hjälp vid planering av röjningsåtgärder i fält.

3. MATERIAL OCH METODER

3.1 Studieområde

Det område som användes i denna studie var främst Bergviks skogsinnehav i trakterna runt Kopparberg (SWEREF99 TM: 6638418, 500000) och delar av Dalarnas och Värmlands län. Totalt omfattade studien ett område på cirka 47 200 km². Materialet till studien hämtades från Rikskogstaxeringens fältinventeringsdata från år 2009 och 2010. Både tillfälliga och permanenta provytor användes och båda var jämt fördelade över länen. Provyteradien var 7 meter respektive 10 meter. De skogliga variabler som användes var medelhöjd, volym totalt, medeldiameter, stamantal, ålder samt grundyta. Varje provyta hade en centrumkoordinat vilken användes för att koppla ihop ytorna med laserdata och underlätta urvalet samt navigeringen av ytorna. Inom hela studieområdet användes totalt 664 provytor.

3.2 Definition av röjningsbehov

Röjning kan se ut på en mängd olika sätt och befinna sig i åldrar från plantskog till äldre ungskog. Definitionen på röjning är enligt Skogsstyrelsens skötselserie av Pettersson et al (2012) "beståndsvårdande utglesning av skog, ej avseende uttag av virke..." En klar definition av hur ett röjningsbehov ser ut har dock inte klarlagts. Närmast är den klassiska röjningstabell som används av skogsbruket och beskriver hur skogen ska se ut efter röjning.

Tabell 3.1. Bergvik skogs röjningstabell: Högsta stamantal efter att beståndet passerat 5 m höjd (Bergvik Skog, 2008).

Ståndortsindex		Högsta tillåtna och önskvärda stamantal per hektar	Högsta tillåtna stamantal på enskild 100m ² provyta
Tall	Gran		
T28+	G28+	2200	22
T26	G26	2100	21
T24	G24	2000	20
T22	G22	1900	19
T20	G20	1800	18
T18	G18	1700	17
T16	G16	1600	16
T14	G14	1500	15
T12	G12	1400	14

I denna studie har Rikskogstaxeringens bedömning på röjningsbestånd använts som hjälp vid utsökning av bestånd samt för att hitta bestånd som passar in. Även en egen avgränsning har använts i kombination med Rikskogstaxeringens data.

Tabell 3.2. *Studiens definition av röjningsbehov.*

Medelhöjd	< 10meter
Stamantal	>2500 stammar/ha

3.3 Fältdata

Fältdata är inhämtat från Riksskogstaxeringens inventeringar från år 2009 och år 2010. Inventeringen har utförts enligt instruktioner och riktlinjer från Riksskogstaxeringen (SLU, 2012, Länk D). Riksskogstaxeringen är en årlig inventering av Sveriges skog och skogsmark vilken genomförs i syfte att beskriva det nuvarande skogstillståndet och följa upp förändringar. Data används till prognoser för att se hur skogarna utvecklar sig genom tiden. Inventeringen är omfattande och bedömningen görs såväl utifrån ett produktions-, skötsel- och miljöperspektiv. Tabellerna 3.3, 3.4 och 3.5 visar summeringen av studiens fältdata för höjd, volym, stamantal och medeldiameter.

Tabell 3.3. *Summering av referensdata totalt.*

Variabler	N	Medel	SD	Minimum	Median	Maximum
Medelhöjd, m	403	11,20	7,36	0	11,45	30,800
Volym, m ³ sk	403	110,17	118,83	0	73,98	613,30
Stamantal, st	403	2924	5869	0	1169	68471
Medeldiameter, mm	403	146,33	96,38	0	221	407,00

Tabell 3.4. *Summering av referensdata, vald som röjning.*

Variabler	N	Medel	SD	Minimum	Median	Maximum
Medelhöjd, m	48	5,74	2,93	1,20	6,0	9,80
Volym, m ³ sk	48	35,18	27,95	0,32	28,95	113,49
Stamantal, st	48	9085	10860	2664	5280	68471
Medeldiameter, mm	48	81,17	57,86	10,00	79,00	290,00

Tabell 3.5. *Summering av referensdata, vald som icke röjning.*

Variabler	N	Medel	SD	Minimum	Median	Maximum
Medelhöjd, m	355	12,16	7,48	0	12,90	30,80
Volym, m ³ sk	355	123,40	123,75	0	92,55	613,30
Stamantal	355	1837	3491	0	780	40652
Medeldiameter, mm	355	157,83	97,31	0	166,50	407,00

3.4 Laserdata

Laserdata som använts i denna studie har inhämtats av Lantmäteriet och det är en produkt från NNH. Höjdinformationen som bildar ett punktmoln samlas in och bearbetas. Därefter klassificeras varje punkt in i tre olika klasser: Mark, Vatten eller oklassificerad. I laserdata följer även metadata som beskriver ursprung och status för genomförd bearbetning (Anon, 2010).

Tabell 3.6. Information om laserdata som använts i studien.

År:	2009 och 2010
Rutstorlek:	2.5 x 2.5km
Koordinatsystem:	Plan: SWEREF 99 TM, Höjd: RH2000
Klassificering av punkter:	01=Oklassificerad, 02=Mark, 09=Vatten, 11=Broar
Klassificeringsprogramvara:	TerraScan 009.006
Punkttäthet:	0.5-1punkt/m ²
Höjdnoggrannhet:	0.05 meter
Flyghöjd:	1700-2300 meter
Stråkövertäckning:	20 %
Skanningsvinkel:	+/-20°
Träffyta på mark:	0,5 meter
Sekretessgranskat:	JA
Filtyp:	.las
Ursprung:	1= Lantmäteriets laserskanning 2009-2013

3.5 Programvaror

Under arbetets gång har olika program använts för bearbetning av fält och laserdata. Det inledande arbetet bestod av att använda Microsoft Office Excel 2007 för att sortera upp och analysera fältdata. För identifiering och matchning samt bearbetning av las-filer och fältdata användes ESRI:s programpaket ArcGis 10. Programmet Fusion (3,01) är framtaget av United States of Agriculture används för framtagning av olika laservariabler och skapande av markmodell utifrån det förklassificerade punktmolnet (McGaughey, R., 2012). För regressionsanalyserna användes Minitab 16.

3.6 Bearbetning med Fusion

Fusion erbjuder goda möjligheter att extrahera variabler utifrån laserdata vilka korrelerar med skogliga variabler (Naesset et al., 2004). Eftersom Lantmäteriets laserdata redan är bearbetat och klassificerat är första steget att normalisera punktmolnet genom att skapa en markmodell. Då laserpulserna innehåller höjdinformation med höjd över havet omvandlas punkterna med hjälp av markmodellen till att motsvara höjd över marknivån. De fältmätta provytornas centrumkoordinat matchades mot de överlappade laserdatat. Punktmolnet klipptes sedan ut för att motsvara provytans storlek. Laservariablerna beräknades sedan på de klippta ytorna (tabell 3.7).

Tabell 3.7. Definitioner av variabler framtaget av fusion från laserdata.

Elev_Min	Lägst registrerade höjdvärde
Elev_max	Högst höjd registrerade höjdvärde
Elev_mean	Punktmolnets medelhöjd
Elev_stddev	Punktmolnets standardavvikelse i höjd
Elev_variance	Punktmolnets varians i höjd
Elev_CV	Punktmolnets variationskoefficient i höjd
Elev_p80	80:e percentilen (höjden över markytan som 80 % av träffarna befinner sig under)
Elev_p90	90:e percentilen (höjden över markytan som 90 % av träffarna befinner sig under)
Elev_p95	95:e percentilen (höjden över markytan som 95 % av träffarna befinner sig under)
Percentage all returns above 0,	(Totalt antal träffar över 0,5m/ totalt antal träffar) x 100
Percentage first returns above 0,50	(första returen över 0,5m/ totalt antal träffar) x 100

3.7 Enkel och multipel linjär regression

Inom statistiken används ofta enkel och multipel linjär regression. Denna teknik används då man vill undersöka om det finns ett statistiskt samband mellan en beroende kvantitativ variabel och en, två eller flera förklarande kvantitativa variabler. Vid enkel linjär regression har man endast en beroende variabel och en förklarande variabel. Medans i multipel kan man ha flera förklarande variabler. Dessa används sedan för att studera om det finns något linjärt samband.

Eftersom det oftast finns en slumpmässig avvikelse kring linjen skrivs sambandet mellan två variabler som:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon \quad (1)$$

Där i är en viss provyta och ε är avvikelsen från linjen för just den provytan. Med regressionsanalys bestäms värden på α och β som minimerar kvadratsumman av avstånden ε , mellan linjen och mätpunkterna, alltså residualerna under bivillkoret att medelvärdet av alla avvikelser är lika med noll (Nordkvist & Olsson, 2012).

Med multipel linjär regression testas sambandet mellan en beroende variabel och flera förklarande variabler. Detta för att se hur värdena följer ett linjärt samband. Formeln som användes var följande:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + e_i. \quad (2)$$

Residualerna e_i är oberoende och normalfördelade med ett medelvärde och att de har samma varians för alla x . Detta är alltså de antagande som måste uppfyllas för att regressionsmodellen ska vara giltig.

3.8 Logistisk regression

Sannolikheten att ett bestånd ska vara i röjningsfas avvägs med logistisk regression, med hjälp av programmet Minitab 16 och funktionen Binary logistic regression. Logistisk regression används vanligtvis när man vill kontrollera sannolikheten för en händelses förekomst.

Den multipla logistiska regressionsmodellen uttrycks i formeln:

$$\text{logit}(p) = \ln[p/(1-p)]$$

$$= \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n, \quad (3)$$

där p är sannolikheten för att en händelse kommer inträffa och x_1, x_2, \dots, x_n är de variabler som förklarar sannolikheten. Den förutsagda sannolikheten beräknas tillbaka igen till den ursprungliga skalan.

$$p = \text{Exp}(\text{logit}(p)) / [1 + \text{exp}(\text{logit}(p))] \quad (4)$$

3.9 Skapande av funktioner

För att skapa funktioner användes Fusions laserdata och Rikskogstaxeringens fältmätta provytor. Många av de framtagna laservariablerna korrelerade tyvärr med varandra, vilket ej är att föredra i regressions-sammanhang då det bidrar till att funktionen blir ogiltig. För att kontrollera vilka variabler som hade högsta förklaringsgrad användes programmet Minitab 16 och en manuell utsökning genomfördes. De variabler som visade låg signifikansnivå och en hög förklaringsgrad valdes ut för att skapa funktioner för höjd, volym och grundyta. Gränsen för signifikansnivån var 0,05 och högsta möjliga förklaringsgrad eftersträvades i denna studie.

Studien hade tillgång till 404 lämpliga ytor från Rikskogstaxeringen för att få fram funktioner för höjd, grundyta och volym. För att beskriva dessa funktioners trovärdighet redovisades en mängd olika statistiska mått och figurer. R^2 , R^2 adj och S. R^2 är förklaringsgraden och anger vilken andel i procent av det beroende variabelns värde i en regressionsmodell som kan förklaras med den förklarade variabeln. R^2 adj är en justering av förklaringsgraden som tar hänsyn till antalet förklarade variabler och urvalets storlek. S är standardavvikelsen för skattningen. Ju mindre S värdet är desto starkare blir det linjära sambandet.

För att få fram den logistiska regressionen gjordes en uppdelning av data där studiens egen definition användes, alla ytor med en höjd under 10 meter och ett stamantal över 2500 valdes och fick benämningen 1. Alla som inte ingick i detta fönster fick benämningen 0. Därigenom kunde en logistisk regression utföras på den nya klassificeringen. En manuell utsökning gjordes och de värden som undersöktes var hur många procent av ytorna överensstämmer med antagandet alltså röjning 1 eller ej röjning 0 och signifikantnivån.

3.10 Bearbetning med ArcMap

ArcMap har använts i ett första skede för lokalisering av fältytornas position samt för identifiering av användbara laserrutor. Raster som skapades i fusion; Elev_p90, Elev_Stddev och percentage all returns above 0,5 lyftes in. Med hjälp av funktionen från logistisk regressions skapades ett nytt gemensamt raster för alla laservariabler som beskriver sannolikheten (odds) för röjning. Detta med ett intervall på 0-100%. Det för att tydligare kunna peka på var röjningsbehovet är större. Därefter sattes en gräns upp på 50 %, vilket innebär att värdet för sannolikheten på den skattade ytan måste vara större än 50 % för att den ska klassas som röjning. Den storlek på rasterrutorna som användes motsvarade en yta på 4 gånger 4 meter.

3.11 Röjningsbestånd

För att undersöka hur väl den framtagna rastermodellen i ArcGis beskriver hur ett röjningsbestånds utseende ser ut, har en utsökning av det gamla beståndsregistret från Bergvik Skog genomförts. Ur registret har bestånd som har en medelhöjd under 10 meter och ett stamantal över 2500 valts ut. Värdena grundas på Bergvik Skogs röjningsmall med stamantal och SI för skog över 5 meter. Därefter har en tolkning gjorts för att manuellt bedöma om urvalet från

registret sammanfaller med den framtagna modellen. Om de studerade beståndet hade en täckning av mer än 50% av ytan klassades de som ett röjningsbestånd. Medans om täckningsgraden inte gick över 50% så klassades beståndet som icke röjning.

3.12 Fältbesök

För att se hur modellen ser ut i verkligheten genomfördes 3 dagars subjektiv fältinventering av 20 utvalda bestånd. Bestånden är spridda runt Grängesberg i Dalarnas län och Kopparberg i Västmanlands län. Dessa valdes ut manuellt efter beståndsregistret. I huvudsak besöktes de bestånd som modellen anger som röjning och där beståndsdata anger det motsatta, samt vice versa. Även ett urval av 4 objekt som var planerade att röjas sommaren 2013 besöktes för att se hur väl modellen överensstämmer med dagens skötselåtgärder.

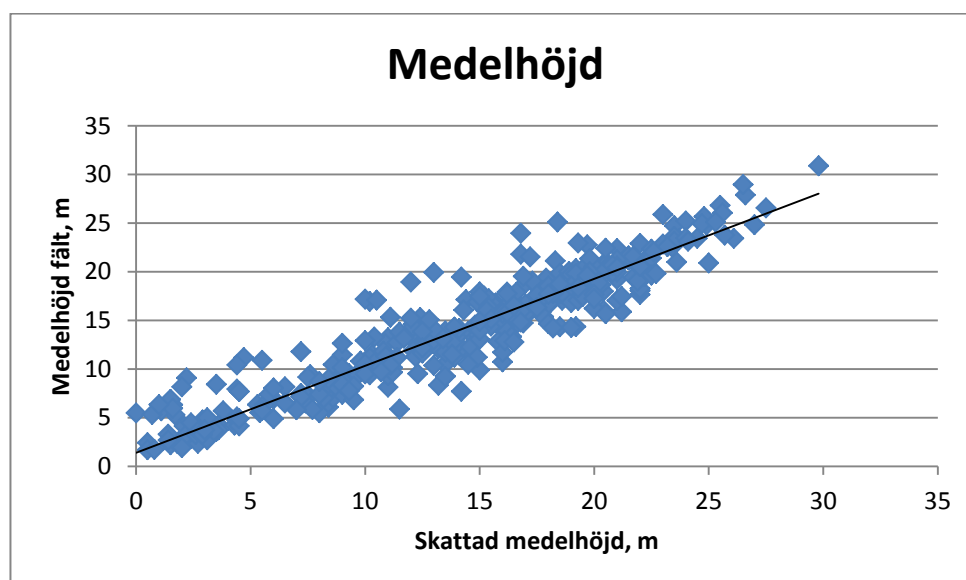
4. RESULTAT

4.1 Skattning av medelhöjd, grundyta och volym

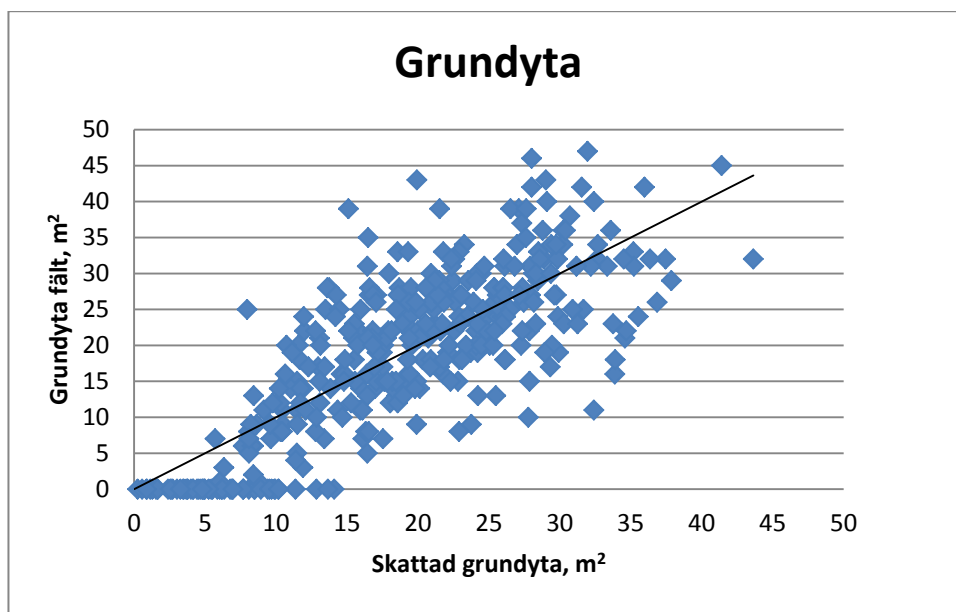
Studiens resultat visar att skattning av skogliga variabler har en hög förklaringsgrad med laserskanning. I figurerna 4.1-4.3 visas det linjära sambandet mellan den skattade variabeln och de fältmätta variablerna. Tabellen påvisar dess förklaringsgrad. Alla värden som användes hade ett p- värde <0,0001. Medelhöjden på provytanivå visar bäst resultat på en förklaringsgrad 89,4 %. Volym-skattningen visar ett resultat på 86,6 % samt grundyta på 76,1 %.

Tabell 4.1. Visar resultat på regressionsfunktioner för skattning av skogliga variabler.

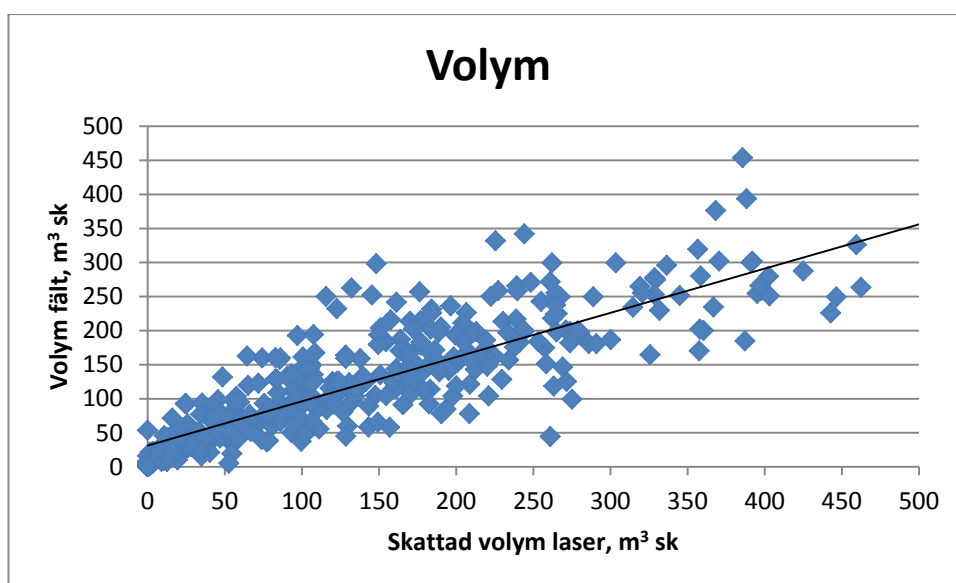
Funktion	R ² adj	R ²	S
Medelhöjd = -0,251 + 1,08 * Elev_P90	89,4%	89,4%	2,3
Grundyta = - 3,68 + 0,899 Elev P90+ 0,282 Percentage first returns abov_0.5	76,1	76,2%	5,9
Volym = - 0,700 + 0,518 lnElev_90 + 0,825 lnPercentage first returns abov_0.5 + 0,736 lnElev_stddev	86,6%	86,7%	0,62



Figur 4.1. Grafen visar linjärt samband mellan fältmätt medelhöjd och lasersns skattade medelhöjd.



Figur 4.2. Grafen visar linjärt samband mellan fältmätt grundyta och skattad grundyta.



Figur 4.3. Grafen visar linjärt samband mellan fältmätt volym och skattade volym.

4.2 Logistisk regression

I studien utvecklades två modeller för att skatta röjningsbehov. Första resultatet är den enklaste formeln med två variabler; först höjden med Elev_p90 och densitetsmått med Percentage all returns above 0,5. Resultatet visas i tabellerna nedan.

Tabell 4.2 Visar förhållandet i uträkningen

	Antal	Procent
Överensstämmer	13880	83,3
Avviker	2797	16,7
Lika	55	0,3
Totalt	16732	100,0

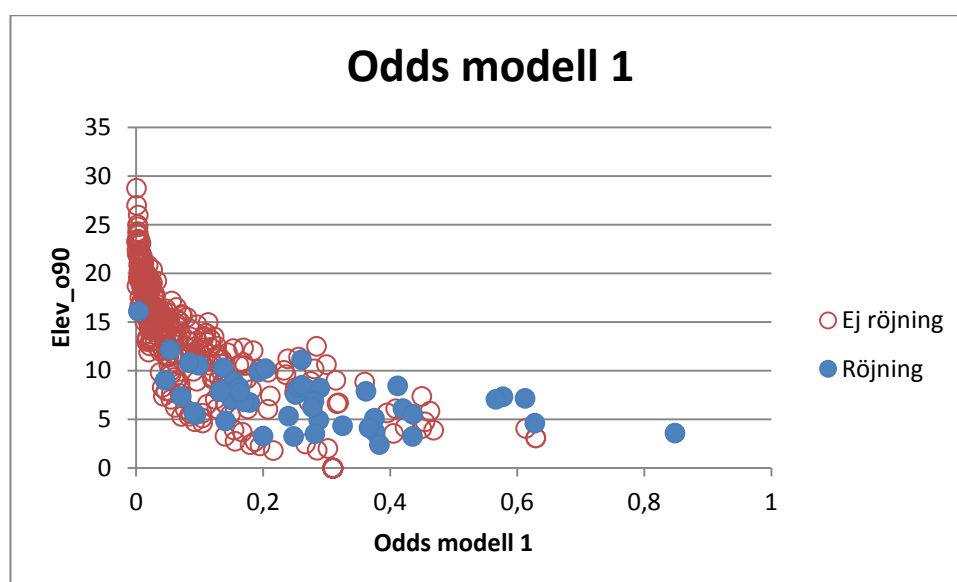
Tabell 4.3 Visar data från logistisk regression

Variabler	Koef	SE Koef	Z	P	Odds värde	95%lo wer	CI Upper
Constant	-0,801943	0,340686	-2,35	0,019			
Elev P90	-0,337645	0,0524717	-6,43	0,000	0,71	0,64	0,79
Percentage all returns above 0	0,0446400	0,0101337	4,41	0,000	1,05	1,03	1,07

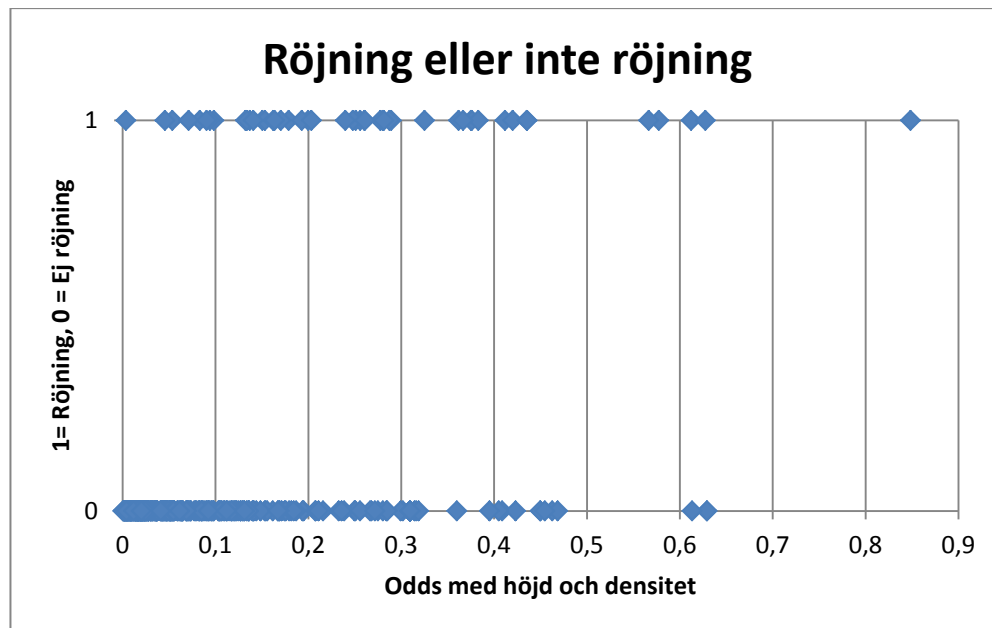
Tabell 4.4 Visar formeln för odds.

Formel

Odds = $-0.801943 - 0.337645 * \text{Elev_P90} + 0.0446400 * \text{Percentage all returns above 0} / (1 + (-0.801943 - 0.337645 * \text{Elev_P90} + 0.0446400 * \text{Percentage all returns above 0}))$



Figur 4.4. Visar spridningen av röjning och ej röjning i höjd och odds procent.



Figur 4.5. Visar på hur uppdelningen av 1 (röjning) och 0 (ej röjning) fördelar sig i odds procent

Andra modellen och den modell jag valt att använda för att beskriva röjningsbehov. Här används som tidigare höjden och densitetsmått men även ett mått för standardavvikelse som bidrar positivt till modellen. Resultatet ser ut enligt följande:

Tabell 4.5 Visar förhållandet i uträkningen.

	Antal	Procent
Överensstämmer	14158	84,6
Avviker	2532	15,1
Lika	42	0,3
Totalt	16732	100,0

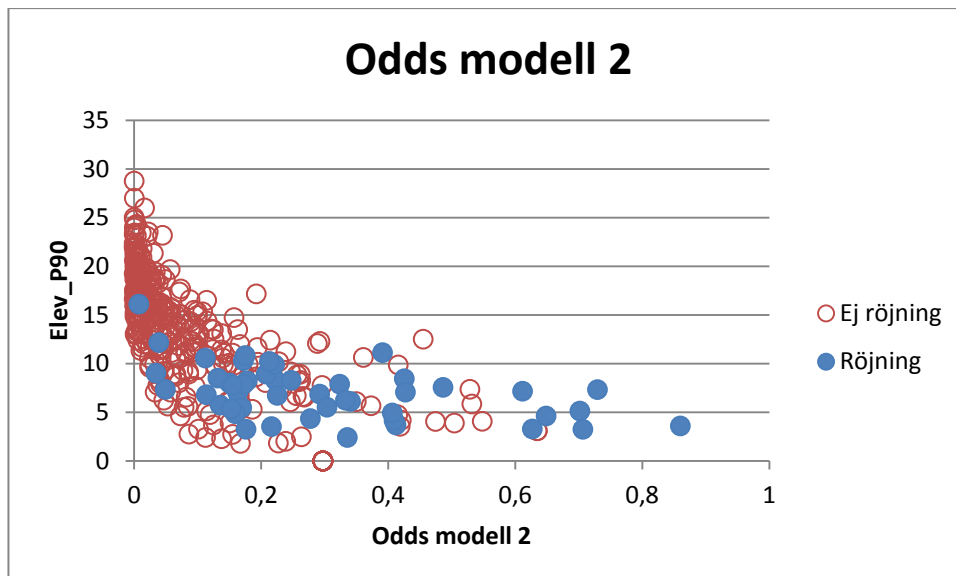
Tabell 4.6 Visar data från logistisk regression.

Variabler	Koef	SE Koef	Z	P	Odds värde	95%lower	CI Upper
Constant	-0,861473	0,344492	-2,50	0,012			
Elev P90	-0,758222	0,156399	-4,85	0,000	0,47	0,34	0,64
Elev stddev	1,55201	0,502105	3,09	0,002	4,72	1,76	12,63
Percentage all returns above 0	0,0485781	0,010576	4,59	0,000	1,05	1,03	1,07

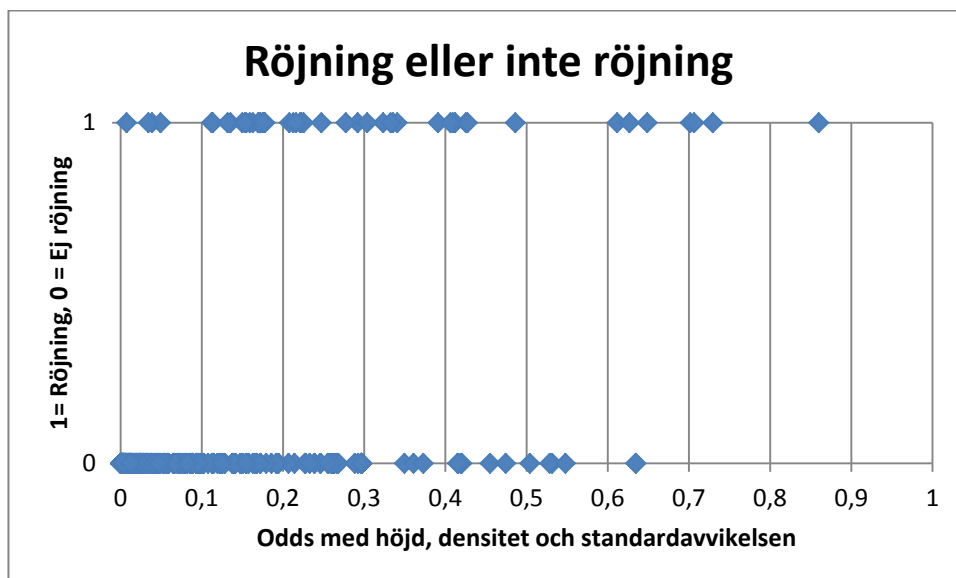
Tabell 4.7 Visar formeln för odds.

Formel

Odds = $-0.861473 - 0.758222 * \text{Elev_p90} + 1.55201 * \text{Elev_stddev} + 0.0485781 * \text{Percentage all returns above 0} / (1 + (-0.861473 - 0.758222 * \text{Elev_p90} + 1.55201 * \text{Elev_stddev} + 0.0485781 * \text{Percentage all returns above 0}))$

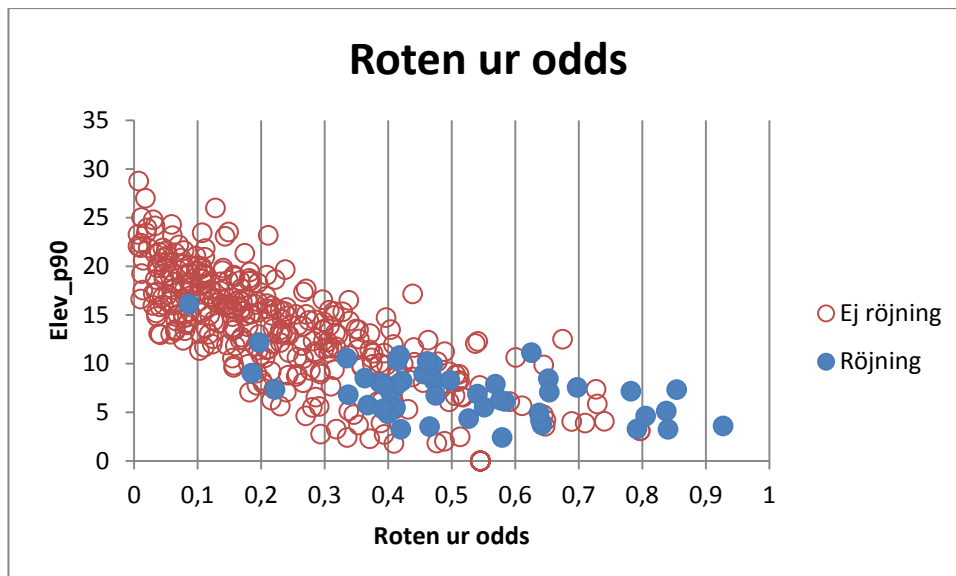


Figur 4.6. Visar spridningen av 1:or (röjning) och 0:or (ej röjning) i höjd och odds procent med P90, Densitet och standardavvikelse.

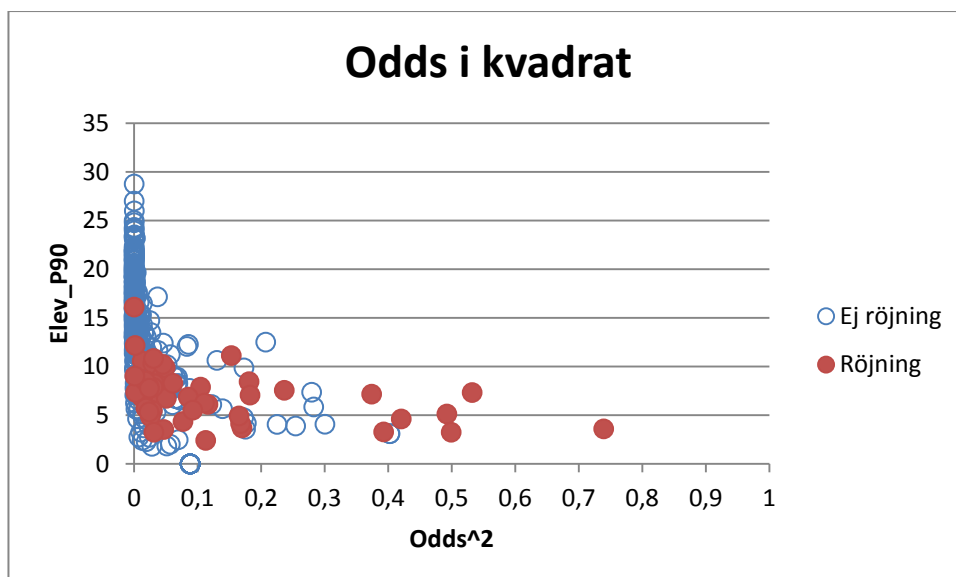


Figur 4.7. Påvisar hur uppdelningen av 1 (röjning) och 0 (ej röjning) fördelar sig i odds procent

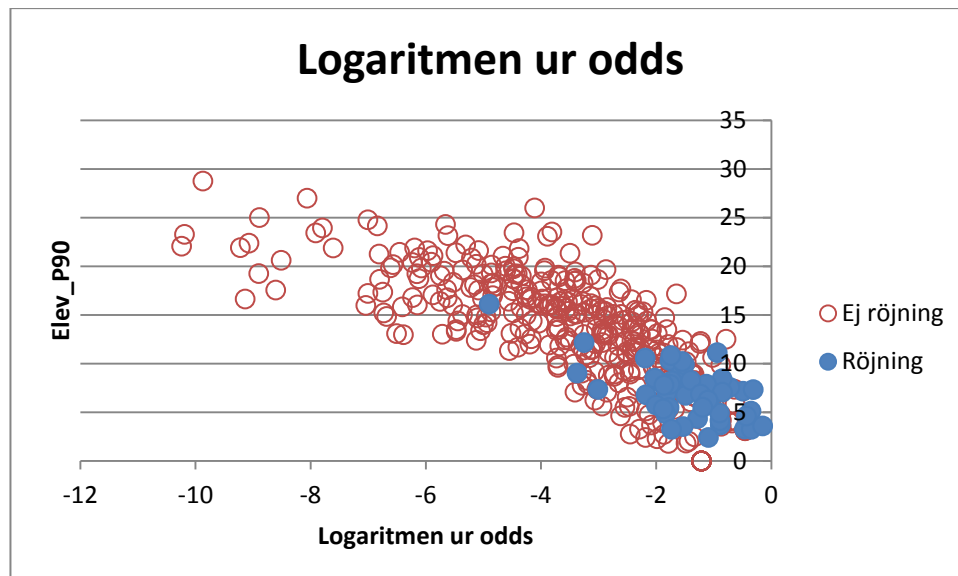
Sambandet mellan P90, Densitet och standardavvikelsen försökte förstärkas genom att testa att köra roten ur, logaritmen och upphöjt i kvadrat. Det gav dock ingen direkt förbättring. Resultatet visas i figurer nedan:



Figur 4.8. Visar spridningen av 1:or (röjning) och 0:or (ej röjning) i höjd och odds procent med roten ur P90, Densitet och standardavvikelse. För att se om roten ur kan ge ett tydligare samband.



Figur 4.9. Visar spridningen av 1:or (röjning) och 0:or (ej röjning) i höjd och odds procent med $(P90, \text{Densitet och standardavvikelse})^2$. För att se om odds i kvadrat ger ett tydligare samband.



Figur 4.10. Visar spridningen av 1:or (röjning) och 0 (ej röjning) i höjd och odds procent med $\ln(P90, \text{Densitet och standardavvikelse})$. För att se om logaritmen ur odds ger ett tydligare samband.

Den klassning som är skapad för den här modellen ska man avläsa som ett tvåstegsurval och om båda förutsättningarna uppfylls klassas beståndet som röjning. Den första är att den skattade höjden inom cellen ska vara under 10 meter och oddset ska vara över 50 %. Genom att använda den framräknade funktionen, för att söka efter potentiella röjningsbestånd, och sedan skapa ett raster i ArcGIS för att identifiera dessa utfördes. Under arbetsgången användes först de objekt som var inom ramen för studiens definition för röjning, dessa bestånd sållades ut från Bergviks beståndsregister. Därefter användes rastret med sannolikheten för röjning för att studera hur dessa bestånd såg ut. Ett bestånd klassades som röjning då det täcktes till mer än 50 % av celler med ett värde på mer än 50 %. Det erhållna resultatet presenteras i tabellen nedan.

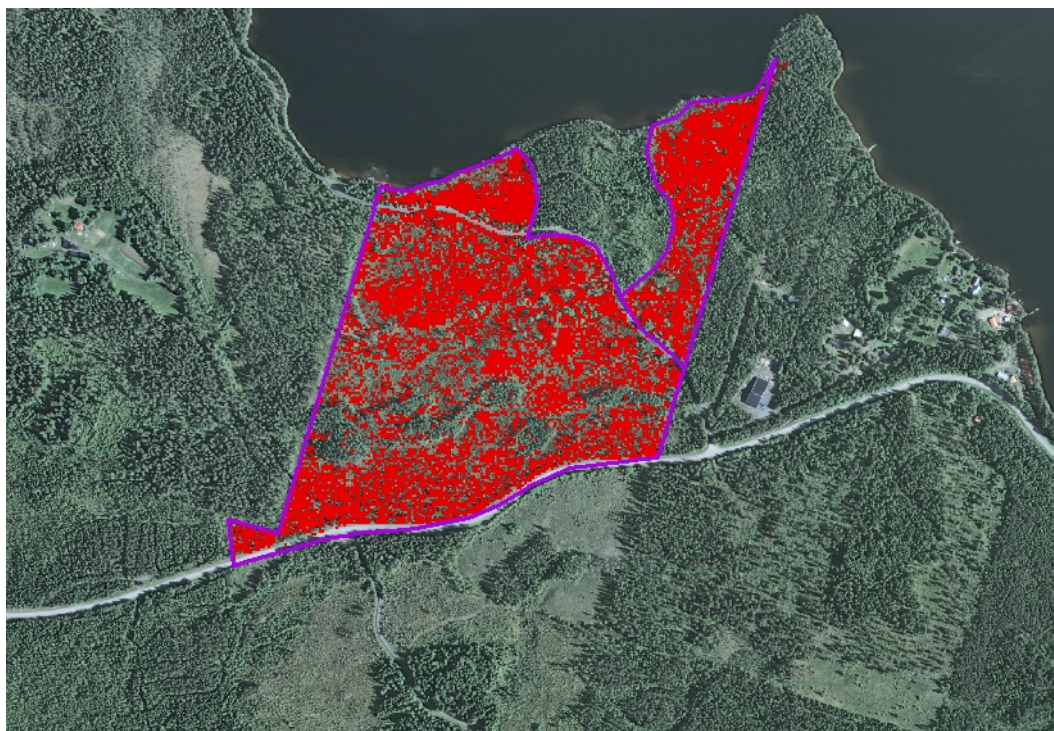
Tabell 4.8. Visar hur modellen identifierar röjningsbestånd utifrån täckningstäthet >50%.

	Antal bestånd	Procent
Klassas som röjning	124	71,7
Klassas som inte röjning	49	28,3
Totalt	173	100

För att påvisa hur modellen ser ut i ArcGIS presenteras figurer med bestånd som både ska röjas och har röjts efter att innehavet blivit skannat. Dessa bilder visas med det bearbetade rastret som visar en röd ruta om cellen har ett oddsvärde högre än 50 %.



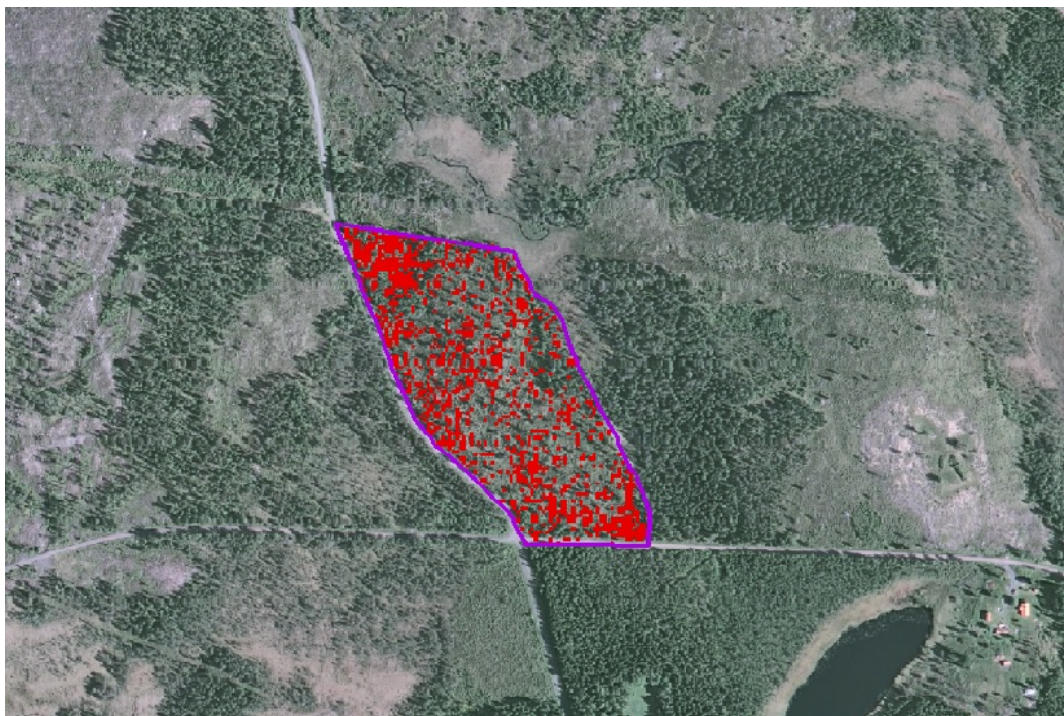
Figur 4.11. Röningsobjekt som ska röjas under år 2013, enligt Stora Enso. Objektet befinner sig sydväst om Grängesberg.



Figur4.12. Modellens bild över hur rönningen ser ut och vart behovet av rönning möjligen är större.



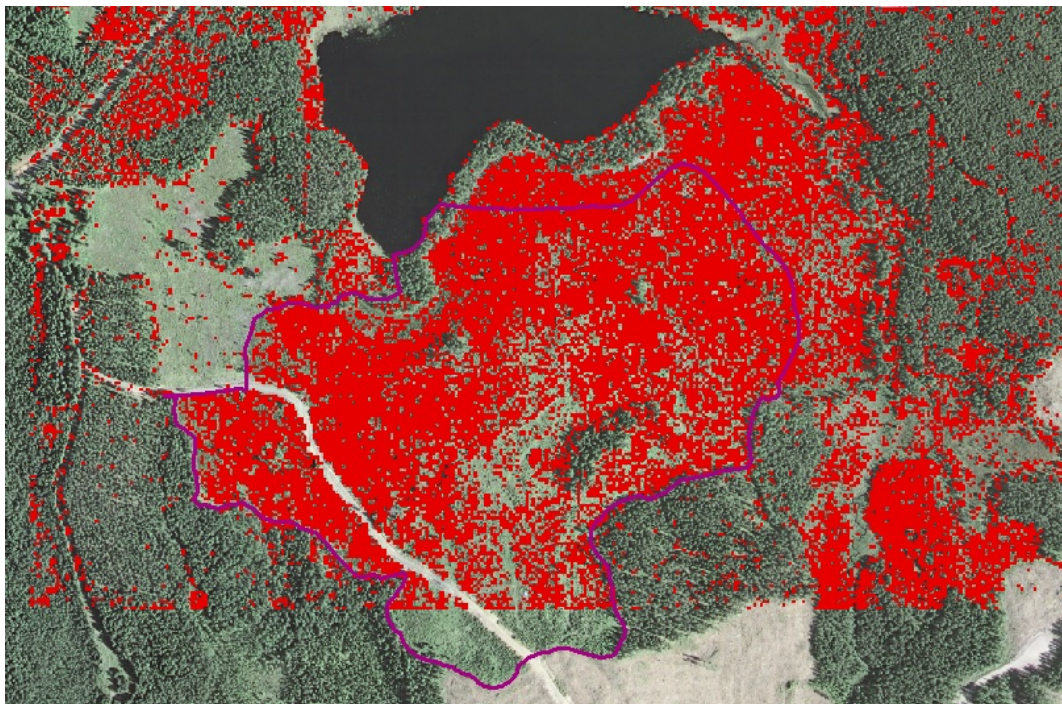
Figur 4.13 Visar ett bestånd som ska röjas enligt beståndsregistret men modellen visar motsatsen.



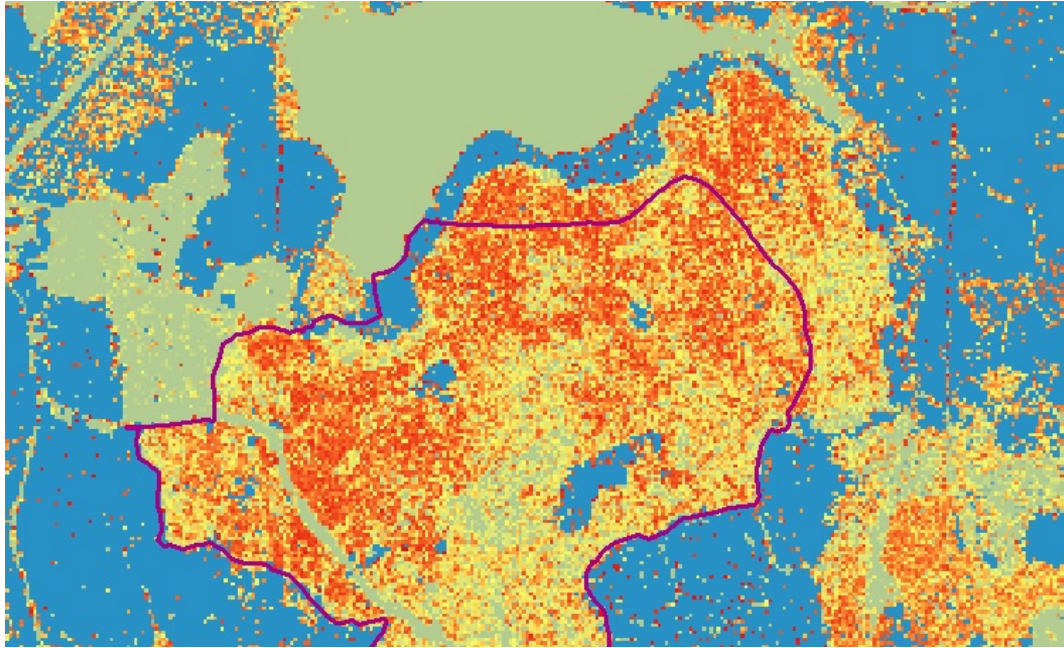
Figur 4.14. Modellens bild över hur röjningen ser ut och vart behovet av röjning möjligen är större.



Figur 4.15. Visar ett bestånd som ska röjas enligt beståndsregistret utan lasermodellen.

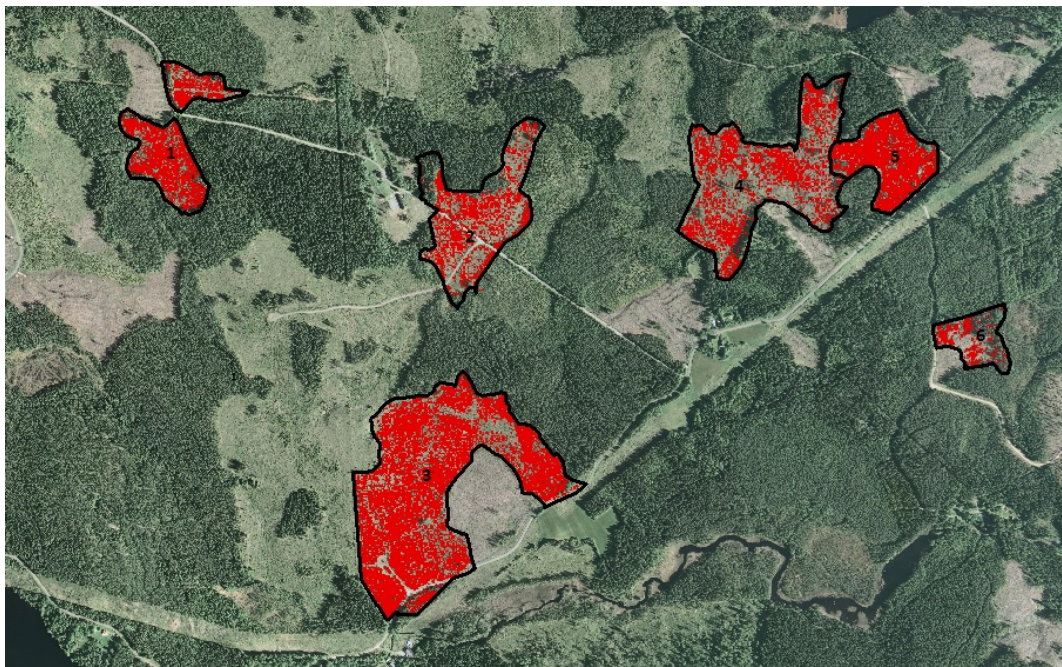


Figur 4.16. Modellens bild över hur röjningen ser ut och vart behovet av röjning möjligen är större.



Figur 4.17. Visar hur lasermodellen ser ut när den går från 0- 100 % i odds. 0 är gråfärgad och 100 är rött. Medans den skog som är över 10 meter är blå och räknas inte i modellen.

Bilden visar ett område med 6 avdelningar. Enligt registret har tre av dessa avdelningar röjts efter laserskanningen år 2009 och tre är fortfarande oröjda. Det är avdelning 1,3 och 5 som är röjda vilket stämmer bra överens med modellen eftersom dessa bestånd var eller är i större behov av röjning medans bestånd 2,4 och 6 ännu inte har röjts.



Figur 4.18. Visar bestånd i olika behov av röjning enligt modellen. Bestånden är belägna några kilometer öster om Grängesberg.

5. DISKUSSION

Det här examensarbetet gick ut på att testa olika ansatser för att identifiera röjningsbestånd med hjälp av laserdata från Lantmäteriets laserskanning över Sverige. Det erhållna resultatet visar att de data som användes mycket väl kan ligga till grund för skattning av skogliga variabler som höjd, volym och grundyta. Liknande resultat påvisas även i många andra studier såsom exempelvis Næset et al. (2004). Identifiering av yngre skog som röjningsskogar har inte undersökts i lika stor omfattning med laserdata och har visat sig vara något mer problematiskt. De resultat som uppvisas i denna studie tyder ändå på att det finns möjlighet att kunna ta fram värden för yngre skog som beskriver röjningsbehov. Modellen beskriver röjning med en klassificering ja eller nej och är uppbyggt med hjälp av logistisk regression i grunden.

Under arbetets gång har jag försökt testa olika sätt för att visa hur röjningen beskrivs bäst med hjälp av laserdata. Jag har ställt upp bestånd som skiljer sig mot varandra och manuellt försökt hitta vilka laservariabler som beskriver skillnaden bäst. Det var logistisk regression som slutligen uppvisade det bästa resultatet och man kan tydligt sätta en gräns som mer direkt pekar på vad som är röjning eller inte enligt modellen. Med hjälp av programmet FUSION skapas ett antal laservariabler som gav möjlighet att testa olika variabler med och mot varandra för att hitta de starkaste sambanden mot angivna förutsättningar. Genom att använda FUSION så begränsas man dock till de variabler som just FUSION erbjuder. Det antalet variabler räckte mer än väl vid genomförandet av min studie, men om liknande studier genomförs kan det vara en möjlighet att testa andra variabler i olika kombinationer. Min personliga uppfattning är att man skulle kunna få fram andra resultat och vinklar med andra laservariabler.

De data som används för att göra regressionen är Rikskogstaxeringens fältdata från inventerings åren 2009 och 2010. Totalt har 400 provytor använts. Fördelarna med att använda just rikskogstaxeringens ytor är att man får tillgång till en stor mängd data som kan bearbetas. Det bidrar till en bredare grund och en bättre valideringsmöjlighet. Att använda redan fältmätta provytor sparar även mycket tid. Speciellt när man ska hålla sig inom ramen av 15 hp vilket motsvarar 10 veckors arbete. Det finns dock även en del nackdelar med att använda sig av rikskogstaxeringens provytor. När de navigerar sig till sina provytor använder de bara en vanlig hand-GPS som har en noggrannhet på ca +/- 5 meter från centrum vilket kan bidra till stora fel när man kopplar laserdata till fältytorna. Om man utgår från fel centripunkt i laserdata beräknas medelvärdet på den yta som ligger på fel plats och om man står vid en beståndskant blir felet ännu större. (SLU, 2012) Personligen tror jag att det bästa är åka ut själv och inventera ett tillräckligt stort antal ytor som kan användas till studien och noggrant mäta in centrumpositionen med en D-GPS. Arbetet underlättas även av att man vet hur skogen ser ut i verkligheten och vad som kan vara rimliga värden att jämföra med.

I resultatet visas två funktioner. Den första är enklare vilket innebär att den bara har med två laservariabler och är desto enklare att förklara. Den säger att ju högre skogen är desto mindre är sannolikheten att den identifieras som röjning. Ju högre densitetsmättet är desto större är sannolikheten att den klassas som röjning. Kombinationen av den första funktionen säger alltså att ju lägre och tätare skogen är desto högre blir sannolikheten att de klassas som röjning. Funktion två är en kombination av höjd, densitet och höjdens standardavvikelse vilket gör den något svårare att beskriva. Medans höjden och densiteten beter sig på liknande sätt som i funktion ett, så säger även denna funktion att om standardavvikelsen är låg så minskar sannolikheten att det är röjning och om standardavvikelsen i höjd ökar så ökar också sannolikheten. Men det är två steg som måste uppfyllas för att denna funktion ska gälla och det är: ett Elev_p90 ska ha ett värde lika eller under tio. Dessutom ska sannolikheten vara över 50 procent om den cell som skattas ska vara röjning. Som modellen ser ut i dagsläget är den inte användbar på skog som skattas i höjd över tio meter.

Jag har även valt en gräns där sannolikheten måste överstiga 50 procent för att den beräknade rutan ska klassas som röjning och sedan ska beståndets yta täckas av mer än 50 procent för att hela beståndet ska klassas som röjning. Denna procentsats är inte alls ett fast mått, utan man kan använda sig av både högre eller lägre tal för att se hur modellen förklarar röjning bäst. Men eftersom jag själv tyckte att 50 procent var en "bra" gräns så använde jag mig av den. Figur 4.6 och 4.7 visar att procentsatsen kan både höjas och sänkas.

Den cellstorlek som används i denna studie är 4 gånger 4 meter och är mindre än de fältmätta ytorna från Rikskogstaxeringen. Detta bidrar till att inom varje ruta så blir det en större osäkerhet eller felprocent än om rasterrutorna var i samma storlek som fältytorna. Normalt vill man ha lika storlek på alla ytor för att minimera felmarginaler.

Vid fältbesöken besöktes ett 20-tal bestånd för att undersöka hur väl modellen har skattat dessa bestånd. Det var en ren subjektiv bedömning och tanken var att få se hur modellen ser ut i verkligheten och själv skapa en bild över vad det är för typ av skog som gynnas respektive missgynnas. Det jag reflekterar över är att varje cell får ett medelvärde och det kan givetvis variera om man fått in något större träd som drar upp medelvärdet inom cellen. Högre skog sluter sig och får ett tätare korn-tak vilket ger en högre standardavvikelse i laserdata, jämfört med yngre och kortare skog vilket syntes väldigt tydligt i modellen. Här skulle man kunna testa andra variabler som beskriver utseendet i modellen annorlunda. Till exempel variationskoefficienten (standardavvikelsen/medelvärdet) där man kan se spridningen i procent. De data som modellen bygger på innefattar endast skog upp till tio meter. Därför blir det fel om man inte filtrerar bort högre skog över tio meter.

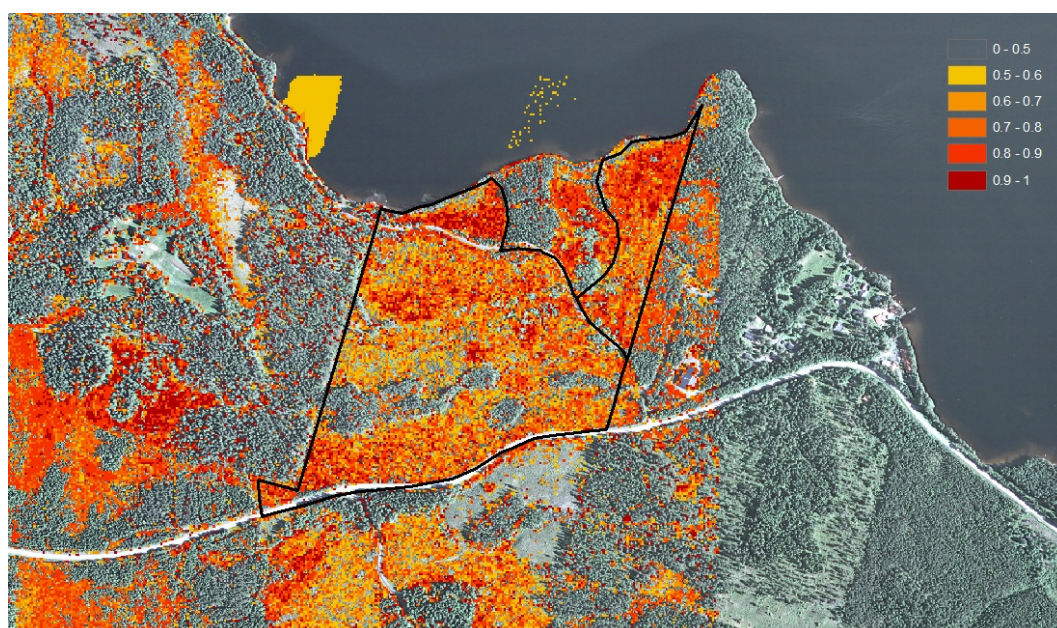
Dessvärre blir laserdata fort inaktuell i denna typ av skogar som ingår i studien. Ungskogar växer fort och dess utseende ändras mycket på bara 4 år. Studiens material är som sagt byggt på data från år 2009 och 2010 vilket också syns när

man kommer ut i fält. Exempel på några andra faktorer som jag tror bidrar till att just röjningen är så svår att skatta är att röjning kan se ut på så många olika sätt. Allt från plantröjning, lövröjning, brunnsröjning till ungskogsröjning mm. Höjden i röjningsskog är oftast relativt liten och bestånden täta. Därefter så beräknas nästan all röjning med hjälp av stamantal och just stamantal är ett mått som laserdata skattar väldigt dåligt. Det finns många studier som tyder på det. Wallerman vid SLU visar i en studie att stamantalet endast kommer upp till en förklaringsgrad på 43 % vilket gör det helt meningslöst att använda den i en funktion eftersom felmarginalerna då blir för stora (Wallerman, manuskript 2012).

Ett annat problem med laserdata är att det fort blir stora mängder data som måste bearbetas vilket tar mycket tid. I NNH fallet är varje laserfil 2,5x2,5 km stor och det blir fort mycket data som ska bearbetas. Speciellt när studieområdet blir stort. Att kunna automatisera processen och ha bättre samt snabbare datorer skulle underlätta arbetet avsevärt.

Eftersom modellen inte tar hänsyn till trädslag, bonitet, betesskador eller andra skador på träden är en fältkontroll ändå nödvändig för att slutligen klassa bestånden som röjning. Vid fältbesök kan även terrängförhållanden kontrolleras och planering som underlättar jobbet för röjarna.

Avslutningsvis vill jag visa denna bild som visar hur modellen kan se ut och användas för att underlätta planering och utsökning av röjning. All skog som är transparent är inte röjning och sedan visas resterande ytor i en färgserie där man hoppar 10 procent i taget från 50 procent upp till 100. Ju rödare ytan är desto större är sannolikheten att det är röjning. Här ser man enkelt vart i beståndet röjningen tros vara tyngre. I förlängningen så skulle man kunna använda sig av täthets procent istället för att säga stamantal och på så vis prissätta röjningar. Till exempel denna röjning har ett medel på 0.7 och kostar då x kronor per hektar.



Figur 5.1. Visar ett bestånd som presenteras med en färgskala från 50% till 100%.

6. SAMMANFATTNING

Bergvik Skog är ett av Sveriges ledande företag när det gäller användning av flygburen laserskanning för skogligt bruk. De nyttjar information från Lantmäteriets NNH-data för att beskriva skogsinnehavet och underlätta planering för gallring och slutavverkningsåtgärder. Möjligheten att identifiera bestånd med röjningsbehov har dock inte testats i någon större omfattning.

Syftet med denna studie är därför att med hjälp av laserdata identifiera bestånd som är i behov av röjning. Fälldata från Rikskogstaxeringens inventeringar från 2009 och 2010 användes i kombination med laserdata från Lantmäteriets luftburna laserskanning inhämtade under åren 2009-2010. I studien används en areabaserad metod för att skatta skogliga variabler. Området delas in i ett kvadratisk rutnät. För varje ruta i rutnätet beräknades grundyta, grundytavägd medelhöjd och volym med hjälp av enkel och multipel linjär regression. Binär logistisk regression användes för att undersöka hur väl de valda laservariablerna skattade röjningsbehovet. I studien utvecklades två funktioner för att bedöma röjningsbehov. Även dessa tillämpades på rutnätet. Resultatet av det skattade röjningsbehovet kunde sedan aggregeras på beståndsnivå. Därefter jämfördes den framtagna modellen som visade bäst resultat med Bergvik Skogs beståndsregister. Det för att kontrollera hur väl den nya modellen beskriver ett bestånd med röjningsbehov utifrån studiens uppsatta röjningsdefinition.

Resultatet visar att data som används i studien skattar höjd, volym och grundyta med en justerad förklaringsgrad (R^2 -adj) på 89 %, 86 %, respektive 76 % vilket är i linje med liknande studier. Modellen för röjning identifierar 72 % av röjningsbestånden inom testområdet. Modellen kan användas som ett stöd vid planering av röjningsåtgärder då modellen även påvisar var i beståndet sannolikheten för röjning är större.

7. REFERENSLISTA

7.1 Publikationer

Anon. (1994). TNC 96 Skogsordlistan. Sveriges skogsvårdsförbund och Tekniska nomenklaturcentralen. Den formella definitionen av röjning är "beståndsvårdande utglesning av skog, ej avseende uttag av virke".

Anon. (2010). Produktbeskrivning: Lidar. Dokumentversion, 1.2. Lantmäteriet.

Bergström, J. & Walter, F. (1999) Fjärranalys för skoglig planering. Uppsala: Skogforsk. *Resultat*, (8).

Bäckström, P-O. (1984). Ungskogsröjning och lövbehandling. Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift 3- 4: 5- 14.

Enström, J. (1996). Grundbok för skogsbrukare. Skogsstyrelsen, Jönköping, 99-103.

Holmgren, J. (2004). Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(6), 543-553.

Klimat och sårbarhetsutredningen. (2007). Sverige inför klimatförändringarna – Hot och möjligheter. Miljödepartementet. (Statens offentliga utredningar 2007:60)

Ligné, D. (2004). New Technical and Alternative Silvicultural Approaches to Pre commercial Thinning. Swedish University of Agricultural Sciences. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 331, 46.

Lysell, G. (2010). Ny nationell höjdmodell. Lasermätning av skog. Lantmäteriet.

Magnusson, M., Fransson, J.E.S. & Holmgren, J. (2007). Effects on Estimation Accuracy of Forest Variables Using Different Pulse Density of Laser Data. *Forest Science*, 53(6):619-626

McGaughey, R. (2012) Fusion manual, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, University of Washington.

Næsset, E. & Bjerknes, K-O. (2001). Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment* (78), 328-340.25

Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyyppä, H., Hyyppä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., Persson, Å. & Söderman, U. (2004). Laser Scanning of

Forest Resources: The Nordic Experience. *Scandinavian Journal of Forest Research* (19), 482-499.

Nilsson, M. (1994). Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using Airborne Lidar Systems. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. (SLU/Institutionen för skogstaxering ; 57).

Nordkvist, K. & Olsson, H. (2013) Laserskanning och digital fotogrammetri i skogsbruket, Arbetsrapport 388 2013.

Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. (2013). Skogsskötselserien nr 6 Røjning. Jönköping: Skogsstyrelsen.

McRoberts, R., Cohen, W., Naesset, E., Stehman, S. & Tomppo, E. (2010). Using remotely sensed data to construct and assess forest attribute maps and related spatial products. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2010; 25: 340_367

SLU. (2012) RIS, Fältinstruktioner. Institutionen för skoglig resurshushållning och institutionen för mark och miljö.

Skogforsk (2008). Resultat nr15.

Wallerman Jörgen (2012). Delrapport Biobränsle i ungskogar. Fjärranalysavdelningen, Umeå: SLU.

7.2 Internetdokument

Länk A:

Bergvik skog, (2013). *Bergvik skog – Om bergvik- skog*. [Online] Tillgänglig: <http://www.bergvikskog.se/om-bergvik-skog/> [2013-06-01]

Länk B:

Skogforsk (2012). *Kunskap Direkt – Röja*. [Online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Roja/Rojningens-grunder> [2013-06-01]

Länk C:

Skogsstyrelsen, (2013). *Skogsstyrelsen – Tabeller – figurer*. [Online] Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Skogsvard-och-miljohansyn/Tabeller--figurer/> [2013-06-01]

Länk D:

SLU, (2012). *Skoglig fjärranalys*. [Online] Tillgänglig: <http://www.slu.se/sv/fakulteter/s/omfakulteten/institutioner/srh/avdelningar/skoglig-fjarranalys/> [2013-03-21]

7.3 Muntlig referens

Sängstuvall, L; Skogliga analyser, GIS, Laserinventering, Bergvik Skog, Personligt samtal 2013-01-07.